

From “Horseless Carriage” To “Silicon Automobile”

趙 東 日

서울대학교 制御計測工學科

발췌

자동차는 20세기 공업제품의 총아로 일상생활에 필수품이 되었으며 앞으로도 계속 그 위치를 지켜 나갈 것이다. 자동차의 역사는 19세기 말엽에 마차에 내연 기관이 말을 대체하는 것으로 그 막을 열었고, 20세기 말엽에 전기전자제어 제품과의 통합으로 또 다른 자동차 세대의 막을 열고 있다. 본문은 자동차 메카트로닉스를 소개하고 그에 관한 21세기의 연구과제를 제시하겠다.

I. 서론

자동차는 현재 일상생활에 널리 사용되고 있으며 인류생활에 크나큰 변화를 가져다 준 공업제품이다. 자동차의 개발은 1876년 독일의 Otto가 내연기관 엔진을 발명함으로써 시작되었다. 이는 흔히 자동차의 왕으로 일컬어지는 Henry Ford가 13세 되던 해이다. 그후 10년 내에 Gottlieb Daimler(후에 Daimler Benz 자동차회사를 창립함)는 이륜 자전거에 Otto엔진을 장착하여 운행하였다. 그 후 많은 시행착오를 거치다가, 지금부터 100년 전인 1894년에 드디어 Otto엔진을 구동원으로 갖추고 조향장치 및 제동장치를 갖춘 “horseless carriage”가 탄생하였다. 이 100년 전의 이벤트는 큰 의미를 가지고 있다. 이때 사용된 기계적 구조 및 설계, 즉 Otto엔진, 샤시(chassis), 조향장치와 제동장치는 큰 변화가 없이 아직도 오늘날 자동차의 기본구조를 이루고 있

다. 자동차 문화를 정착시키는데 큰 역할을 한 미국에는 1894년 당시 4대의 “horseless carriage”가 있었다. 당시 미국 및 유럽은 농업사회였으며 말이 없어서는 안되는 사회였었다. 이 “horseless carriage”의 탄생과 함께 “Horseless Age” 또는 “Automobile Age”(자동차 문화)는 지금부터 정확하게 100년 전에 그 막을 열었다. 우리는 자동차 문화의 또 하나의 큰 변화를 체험하고 있다. 기계공학의 대표적인 제품인 자동차와 전자 및 제어 제품의 통합, 즉 자동차 메카트로닉스(automotive mechatronics)가 자동차를 바꾸고 있다. 이 전자 및 제어 제품은 자동차 엔진 및 변속, 제동, 조향, 현가 장치의 기계적 한계를 초월하여 고성능, 저연비, 높은 안정도 및 좋은 승차감을 실현하는 데 주역할을 하고 있다. 예로 전자식 연료분사 제어 시스템은 종전에 사용되던 기계식 기화기(carburetor)방식으로는 상상도 할 수 없을 만큼 연비와 공해발생을 줄이고 부드러운 엔진 운용을 가능하게 하여 주고 있다. 자동차 메카트로닉스 세대의 출현은 IC 및 micro computer의 고성능화와 저가격화는 물론이고 선행(advanced) 제어기법의 발전에 그 바탕을 두고 있다. 본문은 자동차 시스템의 특성과 자동차 메카트로닉스의 두뇌인 ECU(Electronic Control Unit) 제어기법을 소개하고 차세대 자동차 메카트로닉스를 위한 연구 과제를 제시하는 것에 그 목적을 두고 있다.

II. 자동차 시스템의 동력학적 특성

자동차 시스템은 powertrain(엔진, 변속기,

drivetrain), 환기장치, 조향장치 및 제동장치로 구성된다. 자동차 시스템의 동력학적 특성은 매우 비선형이며 복잡하여 모델링이 용이하지 않다.

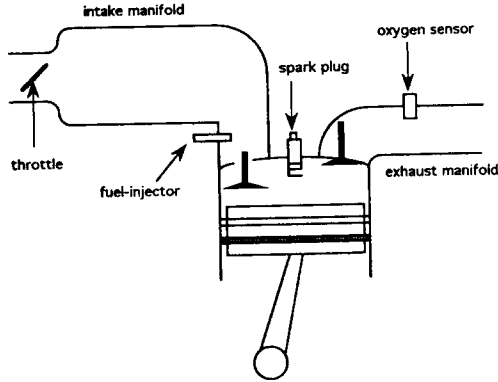


Fig. 1. Schematic of Automobile Engine

〈그림 1〉은 Otto엔진과 흡입과 배기 매니폴드를 보여주고 있다. 트로틀 밸브(throttle valve)는 공기의 흡입량을 조절하고, 연료 분사기는 실제로 엔진 실린더에 흡입되는 공기질량과 맞추어서 연료를 분사한다. 여기서 흡입 매니폴드의 역할은 저주파 통과 필터의 역할과 같아 채터링을 방지한다. 엔진 실린더에 흡입된 공기와 연료는 압축사이클을 거쳐 폭발하며 출력을 발생시키고 배기 가스를 배기 매니폴드로 내 보낸다.

흡입 매니폴드와 엔진의 동력학 특성은 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$\dot{P}_m = c_1 TC(\alpha)PRI(P_m) - c_2 \eta_{vol}(P_m, \omega_e)P_m \omega_e \quad (1)$$

$$\dot{\omega}_e = \frac{1}{I_e} [T_i(P_m, \omega_e) - T_f(\omega_e) - T_a(\text{accessory}) - T_l(\omega_e, \omega_i)] \quad (2)$$

여기서 흡입 매니폴드 압력 P_m 과 엔진 속도 ω_e 는 state variable 이고, α 는 트로틀 밸브의 각도, I_e 는 유효 엔진 관성, ω_i 는 변속기의 속도를 의미하며, c_1 과 c_2 는 상수이다. 식(1)과 (2)는 많은 비선형 함수로 표시되어 있다. 예로 TC는 트로틀 밸브 각도에 따라 공기가 흡입되는 양을 나타내는 함수이며, 공기의 압

축성 및 트로틀 바디의 기하학적 구조의 함수이므로, 그 모델이 매우 비선형이고 복잡하다. 또 공기의 흡입량을 좌우하는 흡입 매니폴드의 압력 대 대기압의 비율로 나타내진 압력비 영향함수 PRI도 공기의 압축성 때문에 매우 비선형이고 복잡한 모델을 가진다. 식(1)에서 흡입 매니폴드의 유출질량을 결정하는 체적효율 함수 η_{vol} 는 Mach수, Reynolds수, 흡입 시스템의 형태계수, 엔진 속도, 엔진 부하 등의 함수임으로 물리적 모델은 절대적으로 불가능하며 역시 매우 비선형적이고 복잡하다. 식(2)에서 T_i , T_f , T_a 및 T_l 는 각각 엔진 도시 토크, 마찰 토크, 전장 부하 토크와 변속기 부하 토크를 의미하며 여기서는 엔진 도시 토크의 예만 들겠다.

$$T_i(P_m, \omega_e) = c_3 \delta_a(P_m, \omega_e, t - \Delta t_1) AFI(P_m, \omega_e, t - \Delta t_1) SA(t - \Delta t_2) \quad (3)$$

식(3)에서 δ_a 는 실린더에 흡입되는 공기 질량을 의미하고 AFI와 SA는 공연비 영향함수와 스파크 영향함수를 의미하며 c_3 는 상수이다. 공기질량 함수, 공연비 영향함수 및 스파크 영향함수는 각각 매우 비선형이고 역시 물리적 모델링이 절대적으로 불가능한 복잡한 함수들이다. 식(3)에서 또 주시하여야 할 점은 두개의 지연시간 Δt_1 과 Δt_2 가 포함된 것이다. 여기서 Δt_1 은 흡입에서 출력발생까지의 지연시간 이고, Δt_2 는 점화에서 출력 발생까지의 지연시간이며, 두개의 지연시간이 각각 엔진 속도에 따라 변하는 것을 알 수 있다. 상기 엔진 모델은 엔진의 특성을 최대한 간략하게 설명한 것이며, 엔진 시스템이 얼마나 복잡하고 비선형인가를 보여주고 있다. 자세한 물리적 모델 및 특성은 참고문헌^[11]에서 찾아 볼 수 있다. 자동 변속기는 〈그림 2〉와 같이 복잡한 복합 유성기어(compound planetary gear)를 써서 입출력 속도와 하중을 맞추어 준다. 여기서 변속제어에 필요한 클러치와 밴드는 유체식으로 제어되며 매우 복잡한 유체회로망이 사용된다. 본문에서 변속기와 drivetrain의 모델링은 생략하였다. 자세한 동력학 특성 및 모델링은 참고문헌^[12-23]에서 찾아 볼 수 있다. 그리고 참고문헌^[24]는 엔진, 자동 변속기 및 drivetrain 모델을 통합하여 시뮬레이션 한 결과를 실차 실시간 실험 결과와 비교하였다. 여기서 우리는 자동차 시스템의 동력학 및 기구학적 특성이 매우 복잡하고 비선형이며 다변수 특성을 가진 것을 알 수 있다. 더불어

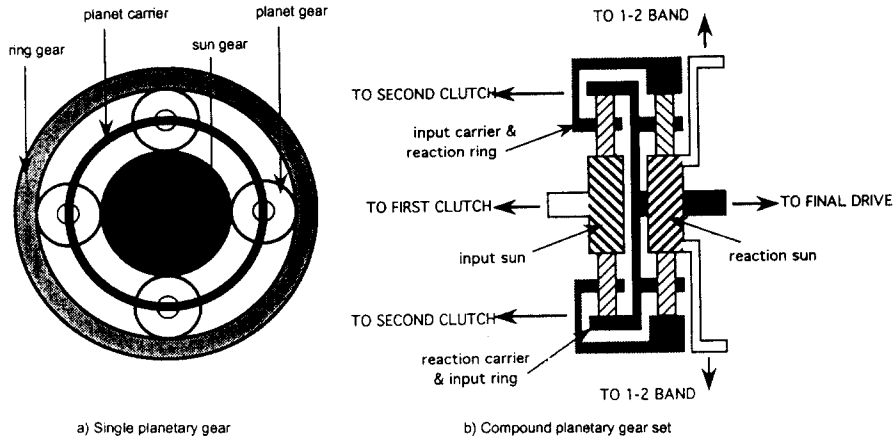


Fig. 2. Schematic of Automatic Transmission

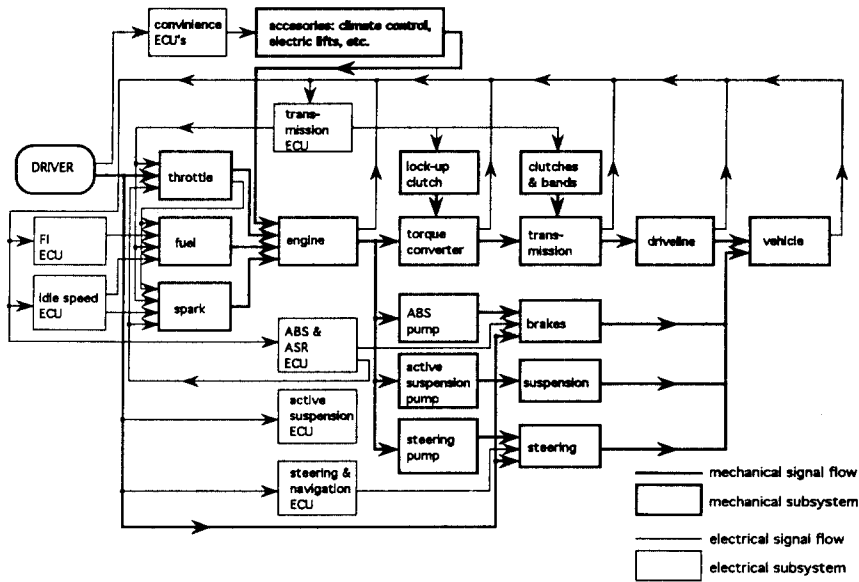


Fig. 3. Complex Network of Mechanical and Electronic Subsystems

체계적인 제어시스템 설계는 결코 간단한 작업이 아님을 알 수 있다.

Ⅲ. 자동차 시스템의 연성(連成) 및 상호작용 특성

〈그림 3〉은 자동차 시스템에서 여러 개의 기계적 서브시스템이 어떻게 복합되어 있으며 상호작용하고

있는 것을 보여 주고 있다. 여러 개의 기계적 서브시스템 외에도 수많은 ECU들은 기계적 서브시스템 및 다른 ECU들과 상호작용을 하여 매우 복잡한 신호 유통회로망을 구성한다. 그림에 기계적 서브시스템과 신호는 굵은 선으로 표시되어 있으며 전기전자 서브시스템과 신호는 얇은 선으로 표시되어 있다.

여기서 한 예로 엔진 점화 ECU를 생각하여 보자. 정상 운행시 엔진 점화 ECU는 엔진 출력과 배기가스를 최적화할 수 있도록 선정된 값으로 look-up

table 방식으로 점화를 제어한다.

그러나 가속시 미끄럼 방지를 위한 traction control을 할 경우 제동장치와 점화지연(spark retardation) 등을 써서 바퀴에 전달되는 힘을 줄인다. 이때 점화지연은 배기가스의 상태는 물론이고 엔진 부하 및 특성에 영향을 미친다. 점화지연은 idle speed 제어에도 입력으로 쓰인다. 엔진이 idle하는 상태에서 점화시기는 최적보다 조금 낮은 값으로 사용되다 엔진 속도의 채터링을 제어하는데 입력으로 사용된다.

여기서 우리는 하나의 제어 입력이 여러 개의 기계적 서브시스템은 물론이고 다른 ECU들에도 영향을 줄 수 있다는 것을 쉽게 알 수 있다.

자동차 시스템의 복잡함과 비선형 특성 때문에 ECU의 제어 알고리즘을 개발하는데 있어 체계적인 제어기법의 응용이 용이하지 않다. 예로 연료 분사 ECU의 제어 알고리즘은 캘리브레이션(calibration) 방식으로 개발하여 look-up table방식으로 설정되고 있는 것이 현황이다.

그러나 서구권의 배기가스 규정이 매우 까다로우므로 많은 운용구간(흔히 256이 많이 쓰임)을 캘리브레이션해야 하며, 캘리브레이션 방식과 gain-scheduling을 위한 운용구간 설정은 고도의 노하우(know-how)와 긴 개발 시간을 요구하는 작업이다.

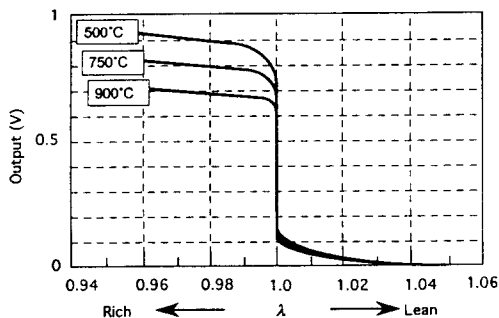


Fig 4. Oxygen Sensor Characteristics

연료분사 제어 알고리즘의 개발을 용이하지 못하게 하는 원인에는 되먹임 센서도 포함된다. 되먹임 센서로 <그림 4>와 같은 특성을 가진 O_2 센서가 사용된다. 여기서 λ 값은 원하는 공연비를 실제 공연비로 나눈 비율을 의미한다. 이 O_2 센서는 $\lambda=1$ 을 기점으로 출력이 이원(二元)형태로 바뀌기 때문에 되먹임 보상기

설계용으로 매우 부적합하다. 또한 <그림 1>과 같이 O_2 센서는 배기 매니폴드에 위치하고 있기 때문에 입력인 연료분사기와 최소한 엔진 2회전에 해당하는 지연시간을 가진다.

상기 되먹임 센서의 취약점은 제어기법의 체계적인 응용을 매우 힘들게 한다. 여기서 공연비 제어의 목표는 $\lambda=1$ 에서 $\pm 1\%$ 에 해당하는 아주 적은 영역이기 때문에 연료분사 제어는 간단한 문제가 아니다.

IV. 연료 분사 제어 알고리즘 개발 사례

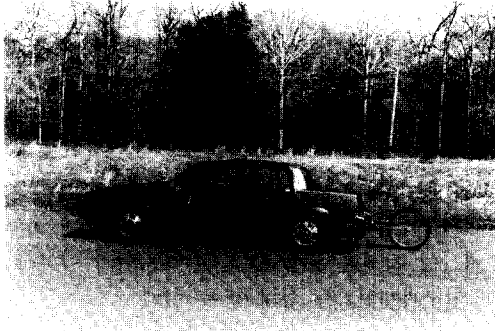
비선형성, 모델링 오차 또 되먹임 센서의 이원 특성과 지연시간의 악조건에도 연료분사 ECU 알고리즘 개발에 체계적인 제어기법 적용이 가능하다. 적용이 가능한 기법 중 첫번째로, sliding mode 제어기법 [25-26]은 고의적으로 스위칭 제어를 사용하기 때문에 O_2 센서의 특징과 잘 맞는다.

또 비선형 시스템에 적용이 가능하므로 엔진 시스템에도 적용될 수 있다. 참고문헌 [27]은 지연시간을 갖는 되먹임 센서를 사용할 때 sliding mode 제어기법의 안정도에 관해 논하였고, 참고문헌 [28]은 sliding mode 제어기법과 연료분사 시스템의 호환성을 논하였으며, 참고문헌 [29-30]은 sliding mode 연료분사(SMFI)시스템의 실용성을 실차 실험을 통해 입증하였다.

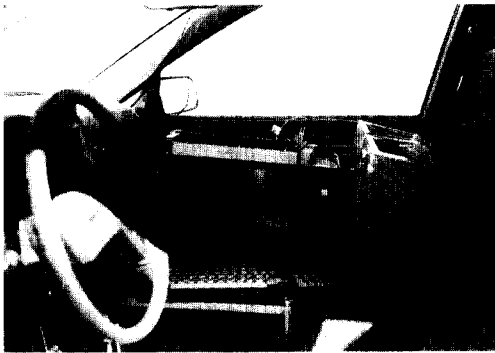
본문은 자세한 이론과 기법은 생략하였다. <그림 5>는 실차와 실험장비를 보여주고 있으며, <그림 6>은 SMFI시스템의 실차 실시간 실험 결과를 보여주고 있다. 공연비를 설정치인 化學量論比(stoichiometric ratio)로 제어하는데 SMFI 방식은 기존 ECU 제어방식과 비슷한 성능을 보여주고 있다.

여기서 SMFI시스템은 캘리브레이션과 look-up table을 전혀 사용하지 않는 기법이며 다른 엔진과의 호환성이 높다. 또한 sliding mode 기법을 사용하였기 때문에 gain-scheduling을 쓰지 않고도 전 구간 운행을 구현할 수 있으며 견실성 보장이 가능하다.

두번째로 적용가능한 기법은 신경회로망을 사용한 제어 기법이다. 제어 시스템 설계에 널리 쓰여지고 있는 신경회로망은 다음과 같이 세가지 종류로 분리할 수 있다.



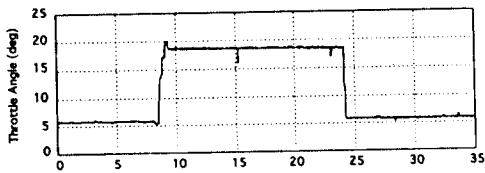
(a) Test vehicle



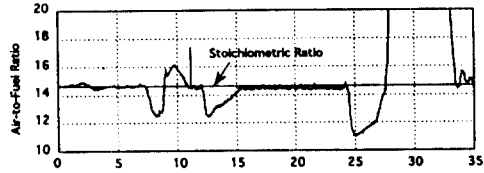
(b) Controller implementation

Fig 5. Test Vehicle and Controller implementation

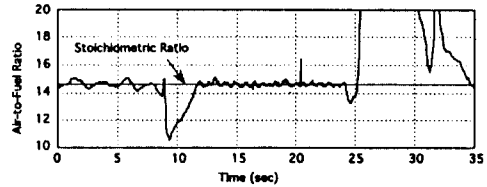
- * Back propagation을 사용한 multi-layer perceptron(MLP)방식[31-32]
- * Radial basis function(RBF)을 사용한 방식 [33-34]
- * Cerebellar model articulation controller (CMAC)방식 [35-36]



(a) Throttle trajectory(drive-by-wire control)



(b) Production ECU control

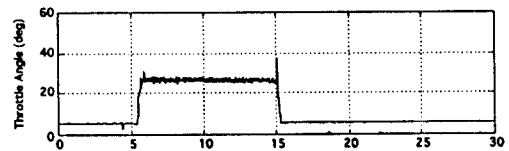


(c) SMFI control

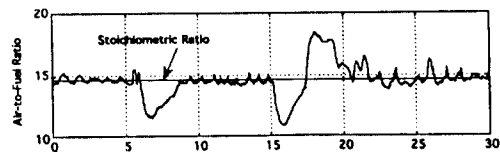
Fig. 6. SMFI Performance

참고문헌[37-38]은 CMAC 방식을 연료분사 시스템에 응용하였다. 이는 CMAC이 비선형 함수를 추정하는데 우수한 특성을 가지고 있고, 학습과정에 local generalization 방식을 쓰기 때문에 전용 VLSI를 사용하지 않더라도 실시간 운행이 가능하다는 점에서 채택되었다.

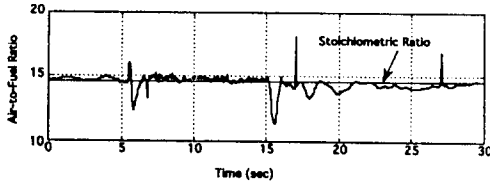
본문에서는 자세한 이론과 개발 사례는 생략하고, 참고문헌 [37-38]의 대표적인 결과를 소개하겠다.



(a) Throttle trajectory(drive-by-wire control)



(b) Production ECU control



(c) CMAC-FI control

Fig. 7. CMAC-FI Performance

(그림7)은 CMAC-FI시스템의 실차 실시간 실험결과를 보여주고 있다. 기존 ECU 시스템과 비교하여 이 CMAC-FI 시스템은 보다 정확한 공연비 제어를 하여 주고 있다. 여기서 CMAC-FI 시스템에 사용된 제어 하드웨어와 센서는 기존 ECU 시스템과 동일하며 알고리즘만 80386 PC에 저장되었다. 이 CMAC-FI 시스템의 학습시간은 불과 한시간 정도였으며, 미리 학습시키지 않은 불규칙한 트로틀 신호에도 기존 ECU 시스템보다 우수한 성능을 나타낸다. V. 차세대 자동차 메카트로닉스 본문에 소개되었듯이 자동차 시스템을 전기전자화 하는 것은 벌써 널리 사용되고 있으며 이 추세는 21세기로 가면서 지속되어 지금보다 더 많은 ECU들이 자동차에 쓰여질 것이다. 이때 수많은 센서와 액츄에이터들의 자기 진단 기능을 생각하지 않을 수 없다. 또 지금까지 각각 설계되어 온 여러 가지 ECU들의 통합이 불가피하여 진다. 이는 자동차의 많은 기계적 서브시스템과 ECU들이 연성 특성을 가지고 있으며 상호작용하기 때문이다.

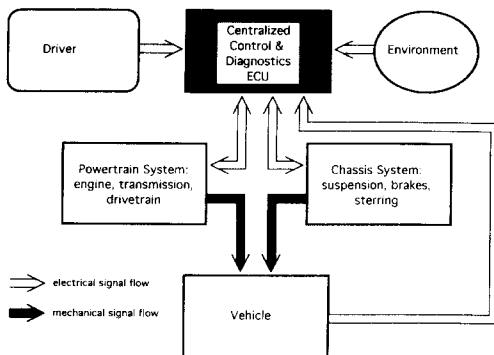


Fig. 8. Schematic Concept of Centralized Control and Diagnostics ECU

(그림 8)은 차세대 통합 ECU의 개념을 보여 주고 있다. 이 통합 ECU의 개념은 필수적이며 이를 실현하기 위해서는 체계적인 자동차 시스템의 동역학 특성 이해와 모델링, 새로운 마이크로 센서 및 액츄에이터의 개발 그리고 선형 제어기법 및 자기 진단 기법의 응용이 절실하다. 지금 현재 ECU 개발은 캘리브레이션 방법에 크게 의존하고 있다는 점에 비추어 볼 때, 이 차세대 통합 ECU는 우리에게 얼마나 방대한 연구과제인가를 쉽게 알 수 있다.

VI. 결론

자동차 공업은 단순한 기계공학이 아님을 본문을 통해 알 수 있다. 전기전자 제어 부분은 벌써 자동차 생산가의 큰 비중을 차지하고 있으며, 미국의 GM사는 그 비중이 21세기에는 30-40%로 증가할 것이라고 추측하고 있다. 지금부터 100년전에 나온 "horseless carriage"에 우리는 지금 "silicon automobile"을 탄생시키고 있다. 메카트로닉스(mechatronics)는 기계부품(mechanicals)에 전자부품(electronics)을 장착시키는 단순한 작업을 의미하는 것이 아니다. 메카트로닉스는 기계공학과 전기전자제어공학의 concurrent design을 의미하는 것으로 21세기 자동차 공학의 총아로 자리잡을 것이 틀림없으며 우리에게 큰 연구과제이다.

* 본문에 소개된 SNFI기법과 CNAC-FI기법은 주식회사 대우 자동차의 지원에 의하여 개발 되었으며, 이에 감사드립니다.

參考文獻

- [1] Taylor, C. F., The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, M. I. T. Press, 1968.
- [2] Powell, B. K., "A Simulation Model of Internal Combustion Engine Dynamometer System", Proc. of Summer Computer Simulation Conference, July 1978.

- [3] Blumberg, N. P., et al., "Phenomenological Models for Reciprocating Internal Combustion Engines", *Prog. Energy & Combust. Sci.*, vol. 5, 1979.
- [4] Powell, B. K., "A Dynamic Model for Automotive Engine Control Analysis", *Proc. of IEEE Conf. on Decision and Control*, 1979.
- [5] Dobner, D. J., "A Mathematical Engine Model for Development of Dynamic Engine Control", SAE Paper No. 800054, Feb. 1980.
- [6] Aquino, C. F., "Transient A/F Control of the 5 Liter Central Fuel Injection Engine", SAE Paper No. 810494, 1981.
- [7] Dobner, D. J., "Dynamic Engine Models for Control Development, Part 1: Nonlinear and Linear Model Formulation", *Int. J. of Vehicle Design*, vol. SP4, 1982.
- [8] Poirier, D. C., "An Analysis of Fuel System Accuracy and Response of a Port Injected Engine", B.S. Thesis, GMI Engineering and Management Institute, Flint, MI, June 1983.
- [9] Powell, B. K., et al., "Advanced Real Time Powertrain System Analysis", ASME Engine Technology Symp., Dallas, TX, Feb. 1987.
- [10] Powell, J. D., "A Review of IC Engine Models for Control System Design", *Proc. of Int. Fed. of Auto. Control*, July 1987.
- [11] Ishihara, T., and Emori, R. I., "Torque Converter as a Vibrator Damper and Its Transient Characteristics", SAE Paper No. 660368, 1966.
- [12] Benford, L. H., and Leising, M. B., "The Lever Analogy: A New Tool in Transmission Analysis", SAE Paper No. 720044, 1972.
- [13] Kotwicki, A. J., "Dynamic Models for Torque Converter Equipped Vehicles", SAE Paper No. 82039, 1982.
- [14] Principles of Operation: HM 440-T4, GM Hydra-matic, 1983.
- [15] Hrovat, D., and Tobler, W. E., "Bond Graph Modeling and Computer Simulation of Automotive Torque Converters", *J. of Franklin Inst.*, vol. 319, 1985.
- [16] Tsangarides, M. C., and Tobler, W. E., "Dynamic Behavior of Torque Converter with Centrifugal Bypass Clutch", SAE Paper No. 850461, 1985.
- [17] Runde, J., "Modelling and Control of an Automatic Transmission", S.M.M.E. Thesis, Dept. of Mech. Eng., M.I.T., Jan. 1986.
- [18] Tugcu, A. K., Hebbale, K. V., Alexandridis, A. A., and Karmel, A. M., "Modeling and Simulation of the Powertrain Dynamics of Vehicles Equipped with Automatic Transmission", *Proc. of Symp. on Simulation of Ground Vehicles and Transportation Systems*, ASME Winter Annual Meeting, Anaheim, Dec. 1986.
- [19] Wong, J. Y., *Theory of Ground Vehicles*, John Wiley & Sons, NY, 1979.
- [20] Moore, D. F., *The Friction of Pneumatic Tires*, Elsevier Scientific Pub. Co., Amsterdam, 1975.
- [21] Clark, S. K., ed., *Mechanics of Pneumatic Tires*, National Highway Traffic Safety Administration Monograph, Washington DC, 1981.
- [22] Pacejka, H. B., "Tire Factors in Front Wheel Vibration", *Int. J. of Vehicle Design*, vol. 1, no. 2, 1983.
- [23] Cho, D., and Hedrick, J. K., "Automotive Powertrain Modeling for Control", *ASME J. of Dynamic Systems, Measurement and Control*, vol. 111, no. 4, Dec. 1989.
- [24] Utkin, V. I., "Variable Structure

- Systems with Sliding Modes", *IEEE Trans. on Auto. Control*, vol. AC-22, no. 2, April 1977.
- [25] Slotine, J. J. E., "Sliding Controller Design for Nonlinear Systems", *International Journal of Control*, vol. 40, no. 2, 1984.
- [26] Cho, D., and J. K. Hedrick, "Nonlinear Control Methods for Fuel-injected Automotive Engines", *ASME Trans. J. of Engineering for Gas Turbine and Power*, vol. 107, no. 1, July 1988.
- [27] Cho, D., and Hedrick, J. K., "Sliding Mode Fuel-Injection Controller: Its Advantages", *ASME J. of Dynamic Systems, Measurement and Control*, vol. 113, no. 4, Sept. 1991.
- [28] Cho, D., "Automatic Control System for IC Engine Fuel Injection", U.S. Patent No. 5,190,020, March 1993.
- [29] Cho, D., and Oh, H. K., "Variable Structure Control Method for Fuel-Injection Systems", *ASME J. of Dynamic Systems, Measurement and Control*, vol. 115, no. 3, Sept. 1993.
- [30] Antsaklis, P. J., "Neural Networks in Control Systems", *IEEE Control Systems Magazine*, Vol. 12, No. 2, pp. 8-10, April 1992.
- [31] Narendra, K. S., and Parthasarathy, K., "Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks", *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 1, no. 1, pp. 4-26, March 1990.
- [32] Chen, S., Cowan, C. F. N., and Grant, P. M., "Orthogonal Least Square Learning Algorithm for Radial Basis Function Networks", *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 2., no. 2, pp. 302-309, March 1991.
- [33] Sanner, R. M., and Slotine, J. J. E., "Stable Recursive Identification Using Radial Basis Function Networks," *Proc. 1992 American Control Conference*, pp. 1829-1833, Chicago, 1992.
- [34] Albus, J. S., "A New Approach to Manipulator Control: The Cerebellar Articulation Controller (CMAC)", *ASME J. of Dynamic System Modeling and Control*, Vol. 97, No. 3, pp. 220-227, Sept. 1975.
- [35] Miller, W. T., Glanz, F. H., and Kraft, L. G., "CMAC: An Associative Neural Network Alternative to Backpropagation", *Proc. IEEE*, Vol. 78, No. 10, pp. 1561-1567, Oct. 1990.
- [36] Shiraishi, H., Ipri., S., and Cho, D., "CMAC Neural Network for Fuel-Injection Control", *Proc. of American Control Conference*, San Francisco, June 1993.
- [37] Majors, M., Stori, J., and Cho, D., "Neural Network Control Method for Fuel-Injection Systems", *IEEE Control Systems Magazine*, April 1994

筆者紹介



趙 東 日

1958年 6月 15日生

1980年 12月 미국 카네기멜론대학 기계공학 (학사)

1984年 5월 미국 M.I.T. 기계공학 (석사)

1988年 2월 미국 M.I.T. 기계공학(박사)

- | | |
|---------------------|---|
| 1987年 9月 ~ 1993年 8月 | 미국 프린스턴대학, 기계항공 우주공학과, 조교수 |
| 1993年 8月 ~ 현재 | 서울대학교, 제어계측공학과, 조교수 |
| 1990年 7월 ~ 현재 | 영국 IOP Journal of Micromechanics and Microengineering, 부편집장 |
| 1991年 7월 ~ 현재 | 미국 IEEE Journal of Microelectromechanical Systems, 부편집장 |
| 1993年 3월 ~ 현재 | 미국 ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 부편집장 |

주관심 분야 : 모델링 및 비선형제어, 메카트로닉스, 마이크로머신, 반도체 센서 및 액츄에이터